

输水隧洞内衬钢管施工技术探析

——以珠江三角洲水资源配置工程为例

孙中文

中国水利水电第八工程局有限公司

摘要: 为保证输水隧洞安全、可靠运行,二次衬砌结构的运用具有必要性。本文首先分析了输水隧洞内衬结构类型,并着重围绕钢管内衬结构展开分析,此类结构施工速度相对较快,且质量可靠,可较好的保证隧洞工程按时按质完成。文章以珠江三角洲水资源配置工程为例,详细分析了钢管内衬施工技术的运用情况,包括钢管制作、安装、防腐以及混凝土灌注等工作要点,以期可为类似项目提供有价值的参考。

关键词: 水资源配置工程; 输水隧洞; 内衬钢管; 施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2020.11.157

一、引言

近年来,盾构法施工技术在输水工程中得到了广泛运用,包括南水北调工程、埃及穿越苏伊士运河输水隧洞工程等。大量的国内外工程实践证明,盾构隧道用作输水隧洞是切实可行的。结合工程项目实施情况分析,由于输水隧道运行环境较为复杂,通水后水压相对较大,为此所采用双层衬砌方案,切实保证输水安全性。本文主要以输水隧洞内衬钢管施工技术的运用为例展开详细分析。

二、输水隧洞内衬结构类型

根据输水隧洞运行来看,其承受着较大的内压,完成盾构施工后考虑隧洞二次衬砌,常用的为钢筋混凝土、预应力混凝土内衬结构等,但是此类工法施工周期较长,若是工期较紧则不适用;而钢管内衬结构在施工进度、质量等方面较为可靠,值得推广运用。

钢管内衬结构主要可以分为两种,具体如下:

一是叠合式结构,外衬管片与钢管内衬采用连接件紧密结合,内、外衬砌联合受力,共同承担荷载,主要适用于地质条件较好的情况,依靠外侧围岩提供较高抗力;

二是分离式结构,在钢管内衬与衬砌管片间设有隔离层,并在隔离层设置排水,防止渗压对内、外衬砌的影响,内、外衬砌分别受力。分离式钢管内衬结构对地质条件要求不高,安全性较好,可适用于各种输水隧洞工程。

三、珠江三角洲水资源配置工程中输水隧洞设计情况

(一) 工程概况

本项目为珠江三角洲水资源配置工程土建施工A4标,即输水干线鲤鱼洲取水口至高新沙水库段的一部分,全线长7.57km。主要工作内容:

(1) 3座双线输水隧洞7.57km,设计输水流量 $80\text{m}^3/\text{s}$,包括左线隧洞桩号LG左12+114.170~LG左19+685.441、右线隧洞桩号LG右12+109.271~LG右19+683.662;

(2) 3座双线共用盾构工作井,包括LG06[#]工作井(桩号LG左15+742.557和LG右15+733.375、左右线共用)、LG07[#]工作井(桩号LG左17+886.188和LG右17+873.044、左右线共用)、LG08[#]工作井(桩号LG左19+685.441和LG右19+683.662、左右线共用);

(3) 3根渗漏排水管及2根应急风水管;

(4) 2条检修道路总长410m。

(二) 输水隧洞设计情况

1. 盾构隧洞结构

本工程输水隧洞总长7.57km,其中盾构隧洞总长约7.46km,输水隧洞概况如下:

①桩号LG左12+132.32~LG左15+724.607:长度3.592,盾

构法;

②桩号LG右12+127.221~LG右15+715.425:长度3.588,盾构法;

③桩号LG左15+760.507~LG左17+868.238:长度2.108,盾构法;

④桩号LG右15+751.325~LG右17+868.238:长度2.104,盾构法;

⑤桩号LG左17+904.138~LG左19+667.491:长度1.763,盾构法;

⑥桩号LG右17+890.994~LG右19+665.712:长度1.775,盾构法。

隧洞采用标准的盾构隧洞尺寸,外衬采用C55W12预制钢筋混凝土管片,外径为6m,内径5.4m,衬砌管片厚0.3m,衬砌环宽1.5m。

2. 钢管内衬及自密实混凝土

内衬钢管采用钢材Q345C,壁厚为18mm~20mm,内径4.8m。内衬钢管外侧设置加劲环,加劲环采用钢材Q345C,高120mm,宽24mm,间距1.2m。内衬钢管与盾构管片之间填充高性能自密实混凝土,混凝土强度等级为C30。在衬砌管片内侧隧洞上部240°沿隧洞方向铺设新型复合排水板,形成隔离排水层。

四、珠江三角洲水资源配置工程中输水隧洞内衬钢管施工技术的应用

(一) 施工方案

1. 工程量范围

本工程钢管分为盾构隧道内衬钢管、工作井井内钢管主管,分水钢管、量水间钢管及风管等,材料厚度主要为:18mm、20mm、24mm、40mm,材质:Q345C。压力钢管内衬涂刷1层厚浆型环氧煤沥青底漆,3层厚浆型环氧煤沥青面漆,干膜总厚度为 $500\mu\text{m}$;外侧均匀喷涂改性水泥胶浆,干膜厚度 $\delta=500\mu\text{m}$;钢管过缝处设厚20mm聚氨酯软垫层。

钢管制造、安装总工程量约为39445t。

2. 方案综述

本工程钢管安排在现场制作,钢管厂设置在LG07[#]工作井施工工区。钢管在钢管厂生产标准管节(3m/节),安装时,洞内主输水钢管管节成品通过拖车运输至各工作井井口,利用布置在该井口的两个组装机位将4节标准管节组装成12m/节(约32t),然后通过井口50t门机吊装至井下,放置在自制的液压运输顶升台车上,运输至洞内安装就位,安装环缝采用手工电弧焊打底+机器全自动填充盖面方式,单面焊接双面成型的焊接方法。焊缝检测合格后防腐,每3个12m钢管段组焊成一个36m浇筑单元节;工作井井内钢管从钢管存放场运输至工作井井口后,通过井口50t门机直接吊装就位;顺德应急分水口量水间的分水钢管从钢管存放场运输至工作井井口后通过井口50t门机及50t汽车吊吊装就位。

(二) 内衬钢管施工技术

1. 钢管制作

(1) 制作计划

本工程压力钢管约39445t,其中内衬钢管39138t,约5077节。根据现场条件,钢管按边生产,边安装的原则进行。根据总进度计划,安装高峰期持续时间在2021年11月至2022年10月,安排8个工作面平行施工。施工强度约2318t/月,296节/

月。钢管加工厂按10节/天生产设计,最高月产量可达2350t。钢管制作强度完全可以满足安装需求。

钢管管节的生产时间在钢管开始安装前1个月开始,钢管制作计划从2021年8月至2023年1月,共18个月,平均月产量2209t,282节。

(2) 制作工艺

根据珠江三角洲水资源配置工程土建施工A4标压力钢管的结构特点,制造工期以及合同文件要求,钢管的制造安排在工地现场进行。拟建钢管厂布置在LG07#工作井施工工区,成品标准管节的下料、卷板、纵缝组对焊接、防腐等的均由新建钢管厂完成。

成品管节制造工艺流程如下:技术准备→材料采购→焊接工艺评定→下料→钢板卷制→单节组圆→纵缝焊接→焊缝检验→管节圆度调整→加劲环拼装焊接→防腐涂装→内支撑安装→验收→成品出厂。

2. 钢管安装

在盾构LG05#工作井、LG06#工作井、LG07#工作井及LG08#工作井入口附近设置组焊平台,管节放置在液压组对机及焊接滚轮架上,采用组对机与焊接滚轮架配合进行组对。成品管节从钢管厂采用汽车转运到入口组对平台附近,洞内钢管使用工作井50t龙门吊将四节3m管节环缝组对焊接成一根12m长的钢管段。工作井井内钢管在洞内钢管安装完成后直接用50t龙门吊起吊安装就位,具体施工要点如下:

(1) 钢管洞内运输、就位

采用专用液压运输顶升台车,该台车采用液压控制,具有自由穿管、爬管,以及钢管的承托承载、顶升和旋转功能,由电瓶车作为牵引动力,配合、液压顶升装置台车组成,该台车车身从钢管内部穿过,行走轮在钢管两头不占用管身区域的空间,钢管内部轨道底部垫一层厚度50mm的防护毛毡垫,避免轨道直接与钢管内壁接触,钢管内部顶紧轮位置需使用橡胶垫与内壁隔离,进行油漆面保护,毛毡垫与轨道底部连成一个整体。同时需在环缝外侧布置一层防火泡沫板,防止洞内焊接时损坏衬砌管片上部复合排水板。

钢管由液压装置从内部顶升后脱离地面进行运输。在已安装加固好管节上安装台车轨道,在台车运输钢管到达对接面时,采用液压顶升装置的顶升、旋转功能使对接面准线、点位对正,然后对钢管进行加固处理。

(2) 定位节的安装

钢管安装由定位节开始按照规定顺序,逐节进行安装。钢管安装的要点是控制管口中心、高程和环缝间隙。安装时,先进行中心的调整,用千斤顶调整钢管,用吊线锤进行监控,使钢管口的下中心点和两腰点的投影点对准预埋的控制点,并将钢管调整到要求的高程。合格后在钢管与支墩间隙之间打入楔型铁,重新检测和调整中心、高程、里程,这样反复数次,直到满足安装设计要求后进行加固。加固完后再次进行中心、高程、里程的检测,并作好记录。定位节里程、管口中心极限偏差均为 $\pm 5\text{mm}$,两端管口垂直度 $\leq 3\text{mm}$ 。

(3) 其余管节的组装

定位节安装加固合格后,安装第二管节。钢管调整后,检查钢管焊缝错边情况、轴线偏差、钢管圆度、管口的中心偏差和里程偏差。测量采用经纬仪、水平仪、吊线锤和钢卷尺等工具联合测量。管节安装与施工图纸规定的轴线平行度误差不大于2%,钢管安装中心和管口圆度偏差遵守SL432第5.2.1条和5.2.3条的规定。当所有项目均满足要求后进行环缝的焊接。

(4) 洞内焊接

双线盾构隧洞内径5.4m、衬砌管片厚0.3m,钢管内径4.8m,加劲环高0.12m。钢管加劲环外沿距离衬砌管片仅18cm,空间非常狭小。洞内环缝焊接,采用单边V型坡口,手工电弧焊打底+机器全自动填充盖面方式,单面焊接双面成型的焊接方法。洞内环缝焊接前,在环缝外侧布置一层防火泡沫

板,防止洞内焊接时损坏衬砌管片上部复合排水板。

完成焊接工作后,做好焊缝检验,包括两大内容:一是外观检查:所有焊缝都进行焊缝外观检验,符合相关的规范要求;二是无损探伤:无损探伤按设计图及相关规范要求进行。经检查发现有焊缝缺陷,均报监理工程师,做好相关返修工作。

(5) 现场补口防腐涂装

工艺流程:补口区域异物清除、除锈→无溶剂环氧液体涂料配制→涂装施工→固化→质量检验→验收

①涂覆环境湿度不得超过85%,不得在雨、雪、雾及风沙等气候条件下露天作业,基材表面温度不宜超过 60°C ,并高于露点温度 3°C 。

②补口区域异物清除、除锈:压力钢管现场环缝焊接后,补口200mm范围内将焊渣、毛刺、油脂等污物清除干净,清除灰尘及浮锈。

③无溶剂环氧液体涂料配制:涂装材料的使用严格遵循施工图纸、涂料供应商的说明书要求。

④涂装施工:可采用高压无气喷涂或手工刷涂施工,喷嘴选择参见涂料说明书。施工前检查无气喷涂机运行是否正常,压力空气是否干燥无油,进气压力是否正常。喷涂前将工地焊缝处预留100mm不喷涂,只涂装一层车间底漆。检查涂料、固化剂、稀释剂是否正确、配套,稀释剂的添加量与熟化时间,严格按涂料说明书执行,过滤网选用60~100目时行过滤。喷枪与工件之间距离控制在300~500mm之间,喷枪与工件之间成 90° 直角,两端以 45° 为限喷枪移动速度为 $0.3\sim 1.5\text{m/s}$,各喷涂带保持 $1/3$ 的宽度重叠。环氧涂层固化按照涂料生产供应商推荐的固化方法及时间执行,环境温度过低或有特殊需要时,可适当提高固化温度,温度不宜超过 140°C 。

⑤质量检验:涂层外观检验:目测,逐渐检查,表面整体平滑,色泽均匀,无气泡、无裂纹和无缩孔;涂层厚度检查:涂层固化后测量,采用GB/T13452.3标准检测,符合图纸及标准要求;漏点检查:涂层固化后测量,采用SY/T0063标准检测,符合图纸及标准要求。

(9) 水压试验

钢管焊接检测合格后,进行水压试验,试验长度根据设计图纸确定。

(10) 混凝土灌注

通过混凝土输送泵管水平运输混凝土至钢管上料口进行混凝土灌注施工,合格后进行下一单元节安装浇筑。

五、结语

综上所述,近些年水工隧洞修建中盾构技术的运用较多,为满足输水内压要求,需进行二次衬砌施工,以有效控制地面沉降,保证隧洞正常运行。本文主要以隧洞盾构内衬钢管衬砌结构的运用展开详细分析,规范落实了钢管制作运输、对接、焊接以及混凝土灌注等工序,整个隧洞工程最终圆满完成,对类似工程具有指导借鉴意义。

参考文献

[1]严振瑞,秦晓川,张武,姚广亮.珠江三角洲水资源配置工程输水盾构隧洞形式优化设计研究[A].中国岩石力学与工程学会隧道掘进机工程应用分会、中国水利水电勘测设计协会、中国工程机械工业协会掘进机械分会、北京轨道建筑学会.水工隧洞技术应用与发展[C].中国岩石力学与工程学会隧道掘进机工程应用分会、中国水利水电勘测设计协会、中国工程机械工业协会掘进机械分会、北京轨道建筑学会:中国水利水电勘测设计协会,2018:6.

[2]温晓英,程子悦,李琛,王志国,刘天生.西江引水工程盾构输水隧洞衬砌形式的选择与设计[J].中国给水排水,2012,28(10):1-4.

[3]洪三金.曲线盾构隧道内大直径内衬钢管的安装及外包混凝土施工技术[J].建筑施工,2014,36(11):1287-1289+1300.